

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

E.A.P. DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tecnología de la Liofilización de productos vegetales

TESIS

para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Juan Celestino Rodríguez Asca

Lima – Perú

2005

A mi esposa Rosely su aliento y
estimulo permanentes,son una -
fuente constante de superación
personal.

Mi agradecimiento al Ing° Mario Bautista
por la valiosa orientación recibida du--
rante la realización de ésta tesis.

CONTENIDO

	<u>PAG.</u>
1.0 Objetivo	1
2.0 Introducción	1
3.0 Importancia	2
4.0 Diagnóstico de la industria de los liofilizados en el País	3
4.1 Antecedentes de la industria de los liofilizados	3
4.2 Situación y perspectivas de la industria de vegetales liofilizados	4
5.0 Principios generales de la liofilización	5
5.1 Definiciones	5
5.1.1 Liofilización	5
5.1.2 Congelamiento	6
5.1.2.1 Velocidad de congelamiento	8
5.1.2.2 Métodos de Congelamiento	8
5.1.2.2.1 Congelamiento por inmersión	8
5.1.2.2.2 Congelamiento por contacto indirecto	9
5.1.2.2.3. Congelamiento por circulación de aire frío	9
5.1.2.3 Frente de congelamiento	10
5.1.3 Mecanismo de transferencia de calor y de masa en la liofilización	12
5.1.4 Tiempos de liofilización	13
5.2 Tecnología de la liofilización de productos vegetales	15
5.2.1. Descripción del procesamiento	15
5.2.1.1 Ingreso de materia prima	16
5.2.1.2 Lavado	16
5.2.1.3 Pelado	16
5.2.1.4 Lavado con agua clorada	17
5.2.1.5 Seleccionado	17

5.2.1.6	Cortado	17
5.2.1.7	Llenado del producto en bandejas	18
5.2.1.8.	Ingreso del producto al túnel liofilizador	18
5.2.1.9.	Congelamiento por evacuación	18
5.2.1.10	Calefacción	19
5.2.1.11	Descarga del producto del túnel	20
5.2.1.12	Selección del producto final	20
5.2.1.13	Calificación microbiológica	20
5.2.1.14	Embalado	21
5.2.2	Equipamiento Empleado	21
6.0	Factores que influyen en la liofilización de productos Vegetales	22
6.1	Transferencia de calor y de masa	22
6.2	Condiciones de congelado	25
6.3.	Efecto de las condiciones de deshidratación en la calidad del producto.	28
6.4	Reacciones bioquímicas	28
6.5	Embalaje	36
6.6	Rehidratación	37
7.0	Control de Calidad	38
7.1	En la materia prima	38
7.2	En el producto terminado	40
7.2.1.	Aspecto físico	40
7.2.2	Aspecto organoléptico	40
7.2.3	Aspecto nutricional	42
7.2.4	Aspecto microbiológico	42
7.3	Conservación del producto liofilizado	44
8.0	Aspectos económicos y de mercado en la liofilización de los productos vegetales	45
8.1	Costo de producción	45
8,2	Situación del mercado internacional	47

9.0 Conclusiones	49
10.0 Recomendaciones	51
11.0 Bibliografía	53

Anexos

1.0 OBJETIVO

El presente trabajo tiene la finalidad de presentar los principios tecnológicos de la Liofilización de productos vegetales, así como - los factores que influyen en su industrialización.

2.0 INTRODUCCION

Particularmente, la experiencia lograda en la empresa " Liofilizado ra del Pacífico S.R.Ltda." ha sido el punto de partida que junto - con el aspecto teórico, ha dado lugar a la elaboración de este trabajo , que se refiere al campo de la Liofilización de los alimentos y específicamente, a la de los productos vegetales.

Es necesario señalar, que este tipo de preservación de alimentos - se ha constituido en la forma más sofisticada a nivel industrial - de retener las cualidades organolépticas de los alimentos.

Por ello, a continuación se expondrán los fenómenos y mecanismos - involucrados que intervienen para dar un producto de alta calidad - y que, a pesar de su alto costo en el mercado internacional, su demanda ya en aumento, especialmente a nivel de exportación.

3.0 IMPORTANCIA

La industrialización de alimentos por el método de liofilización - tiene mucho porvenir en el país, aunque existe solamente una planta en el Callao dedicada a este fin.

Es de gran importancia, no sólo aclarar conceptos acerca de la liofilización para destacar las cualidades de los productos y plantearlos como una alternativa rentable dentro del Mercado Mundial, sino-también , contribuir a su difusión plasmando algo de la experiencia adquirida.

En la exposición de los principios teóricos que rigen la liofilización, se ha condensado, relacionando y evaluando, mucho de la investigación actual, a la luz de los resultados experimentales obtenidos en la práctica.

Finalmente, se resaltarán el uso de ciertas técnicas para el control de los principales factores que contribuyen a la calidad de los productos liofilizados.

4.0 DIAGNOSTICO DE LA INDUSTRIA DE LOS LIOFILIZADOS EN EL PAIS

4.1 Antecedentes de la Industria de los Liofilizados

Siendo el Perú, un país agrícola por tradición y teniendo una diversidad de microclimas a lo largo de su geografía, garantiza la existencia más continua y no tanto estacional, de una serie de productos vegetales.

En este contexto, la Industria de los Liofilizados tiene un respaldo importante, toda vez que se cuenta con un sistema de abastecimiento con la suficiente dinámica para conseguir materia prima de la calidad más aparente.

Anteriormente, en la ciudad de Arequipa se instaló y funcionó una planta de Liofilizados, también de productos vegetales, sin embargo la mala administración existente, determinó que, a pesar de ser de mayor capacidad que la del Callao, tuviese que declararse en quiebra.

En general la liofilización tiene su origen en la industria farmacéutica, y es así que en el Perú existen varios equipos de pequeña capacidad para diversos usos tales como: preparados hormonales, terapia de tejidos, etc.

4.2 SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA DE VEGETALES LIOFILIZADOS

Como se mencionó brevemente, en nuestro país, actualmente funciona una sola industria de envergadura ubicada en el Callao que produce básicamente liofilizados de : cebollino, cebolla china, vainita, -- poro , etc.

La producción de Liofilizadora del Pacífico está destinada, casi en su totalidad a la exportación en mercados ubicados en el Japón, Alemania, Inglaterra, Estados Unidos, etc.

La demanda de los últimos años ha crecido, aunque cabe señalar que el mercado de los liofilizados es un mercado limitado pero seguro, lo cual demuestra buenas perspectivas.

El nivel de la tecnología de esta industria en el país consta de los equipos básicos necesarios, pero de acuerdo a la demanda existente, es inminente la ampliación, con mayor capacidad de producción e igualmente una tecnología comparable a la de los países desarrollados.

Por otro lado, se debe mencionar que la Deshidratadora de Arequipa fracasó fundamentalmente por la mala gestión administrativa y al sobredimensionamiento de la misma.

Actualmente CONADE (Corporación Nacional de Desarrollo) afronta el problema de deshacerse de esta empresa pública la cual fue recientemente licitada y declarada desierta, al no haberse presentado postores.

Sería por ello conveniente efectuar un estudio de factibilidad para evaluar la alternativa de instalar una industria de liofilizados en la zona sur, debido no solamente al enorme potencial existente de productos vegetales, sino también a las condiciones climáticas que influirían en un mayor rendimiento por hectárea.

5.0 PRINCIPIOS GENERALES DE LA LIOFILIZACION

5.1 Definiciones

5.1.1. Liofilización

Es una operación unitaria por la cual, el agua congelada de un alimento pasa directamente del estado sólido al estado vapor, bajo una presión de alto vacío.

En el comienzo del proceso de secado, la sublimación del hielo ocurre en la superficie y en la medida que el proceso continúa, la superficie a sublimarse se retira dentro del producto, y el vapor resultante debe ser conducido a través de las capas externas secas.

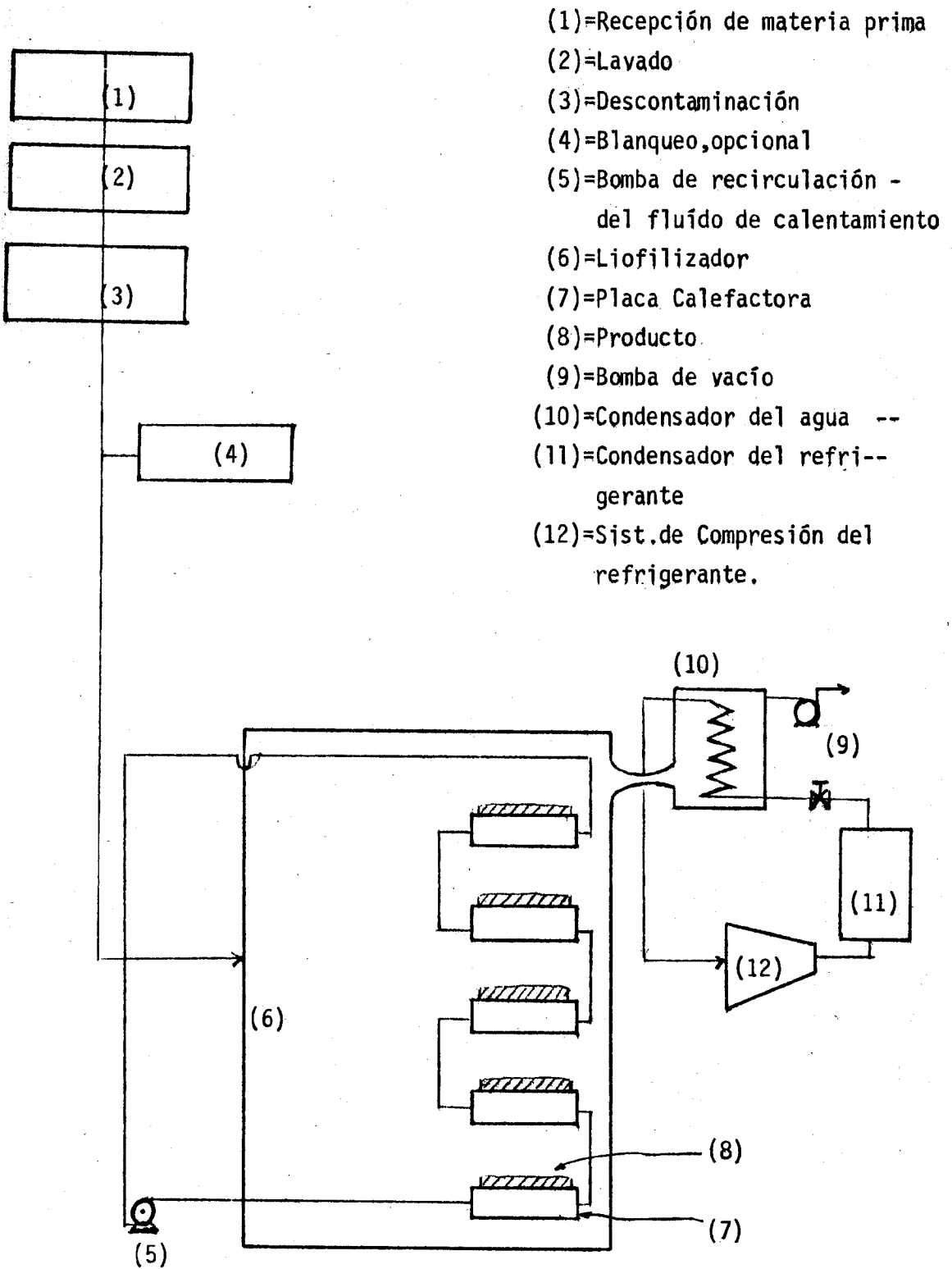
En la liofilización de alimentos, se comienza con el congelamiento de los mismos, para posteriormente, proceder al secado, siguiendo con un programa de temperaturas, a fin de establecer un equilibrio de la temperatura del alimento con la presión circulante.

Finalmente, el producto poseerá una rigidez estructural, una adecuada porosidad y una retención de las propiedades organolépticas más características, alcanzando una alta cotización en el Mercado Internacional.

Diagrama de flujo:

A continuación se presenta un esquema general de elaboración de productos liofilizados.(Ver diagrama adjunto).

DIAGRAMA DE FLUJO



5.1.2. Congelamiento

Se define como punto de congelamiento a la temperatura - de equilibrio del comienzo de la formación de hielo.

El punto de congelamiento de los alimentos está entre : -0.5°C y los -5°C, pero la mayoría se encuentra sobre los -2°C; es necesario aclarar que la mayoría de los alimentos vegetales frescos poseen de 80 a 90% de agua.

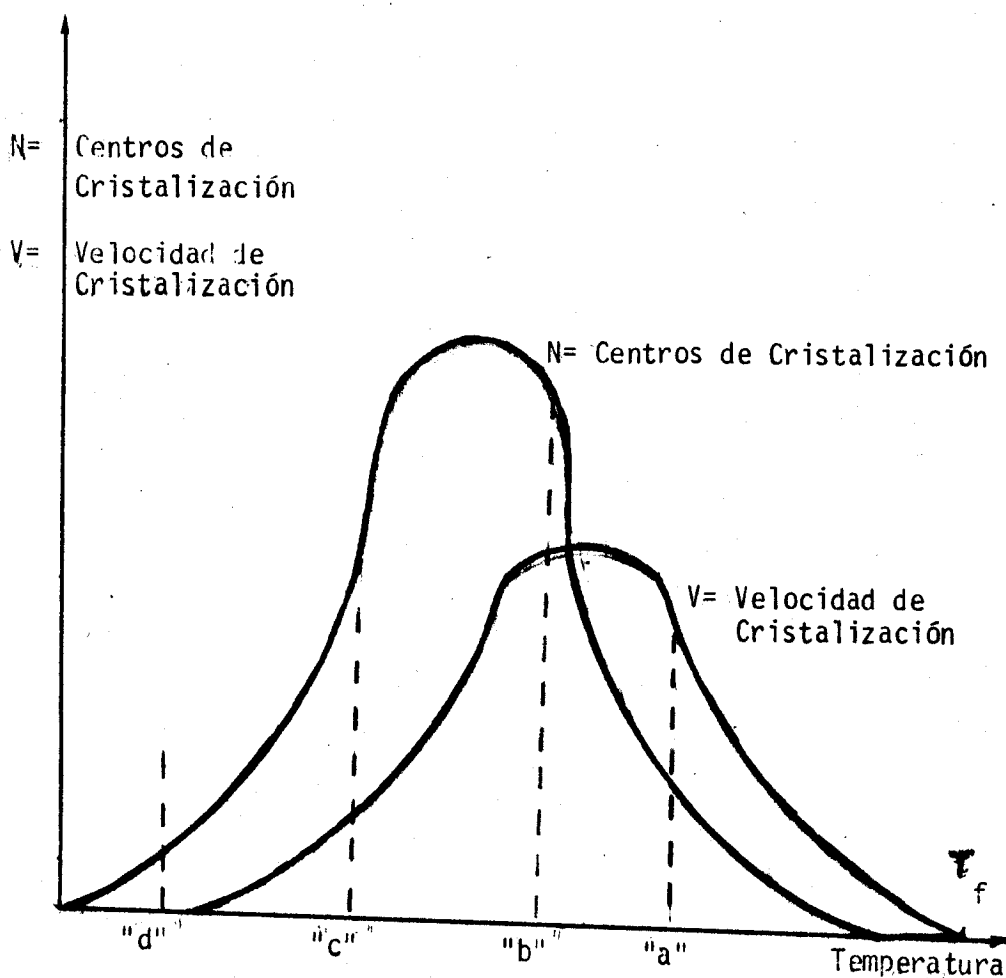
Cuando disminuye la temperatura debajo del punto de congelamiento del producto, la cristalización del hielo dentro de la fase acuosa, comienza primero cuando ocurre la nucleación, y si se tiene en cuenta que la mayoría de los tejidos vegetales se subenfrian, el proceso de nucleación comenzará a una temperatura menor que el punto de congelación.

Siendo el mecanismo de la siguiente manera

Cuando, debido al enfriamiento de la mezcla de solucio--nes complejas presentes en los alimentos, la temperatura cae debajo del punto de congelamiento T_f (según gráfica-Nº1) el primero de todos los centros de cristalización-comienza a formarse (curva N) su número es mínimo, pe--ro se incrementa rápidamente con una caída de temperatu--ra adicional.

Similar es la dependencia de la velocidad de crecimiento de Cristales (V) con la temperatura.

Ambas curvas juntas muestran que cerca del punto de congelación, en " a " un pequeño número de cristales gran--des aparecen (pequeño N, alta V); si se hace el congelamiento en está región de temperatura, resultará una estructura cristalina gruesa.



A menores temperaturas, en " b ", una estructura de cristal media aparecerá y a una menor temperatura, en " c " un mayor número N de pequeños cristales (pequeño V) se produce.

Para propósitos de ilustración puede mencionarse que el número de cristales contados al microscopio en una fibra muscular a -45°C fue 10 veces en comparación al número - que apareció en la fibra del mismo tamaño a -15°C .

En general se tiene que, el sabor de las frutas y vegetales es aproximadamente independiente de aquellas velocidades de congelado, que ocurren en la práctica normal.

No sucede lo mismo, con respecto a la textura de los vegetales y frutas, pues sufren algo con el congelamiento debido a los cambios en las paredes de los tejidos celulares, pudiéndose dar el caso de lograr textura leñosa indeseable con determinadas velocidades y con otras no.

5.1.2.1 Velocidad de congelamiento

Convencionalmente se consideran tres tipos:

velocidad lenta: $1^{\circ}\text{C}/50$ minutos.

velocidad rápida: $1^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$ a $100^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$.

velocidad ultrarrápida: $5^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$ a $100^{\circ}\text{C}/\text{seg}$.

A velocidades menores de $50^{\circ}\text{C}/\text{min}$. no se formará aún el hielo intracelular.

5.1.2.2. Métodos de congelamiento

Se agrupan principalmente en 3 clases:

- 1.- Congelamiento por inmersión directa en un medio refrigerante.
- 2.- Congelamiento por contacto indirecto con un refrigerante.
- 3.- Congelamiento por circulación forzada de aire frío.

5.1.2.2.1 Congelación por inmersión directa.

La inmersión directa del producto en salmuera de baja temperatura, constituyó el comienzo de las técnicas de congelamiento rápido.

Al existir un contacto perfecto entre el refrigerante y el producto, la velocidad de transferencia de calor es muy alta y el producto congelado resultante no es un bloque sólido, sino que cada pieza es una unidad separada; Sin embargo, debido a la dificultad en mantener una concentración constante de salmuera y a su limitación respecto a su uso en frutas se ha enfocado la atención al uso de nitrógeno líquido, aunque se considera como el método más caro.

5.1.2.2.2 Congelación por contacto indirecto.

Usualmente, se congela por medio de placas por entre las cuales circula un refrigerante.

Entre sus ventajas, se encuentran:

- Produce un paquete uniforme con un mínimo de vacíos.
- necesita poco espacio disponible, no obstante requiere mucho manipuleo en la carga y descarga de los productos y congela lentamente aquellos productos con espacio de aire muerto en el paquete.

5.1.2.2.3. Congelación por circulación de aire frío

El movimiento rápido de un aire muy frío también puede producir un congelamiento rápido.

En este método, el producto a ser conge

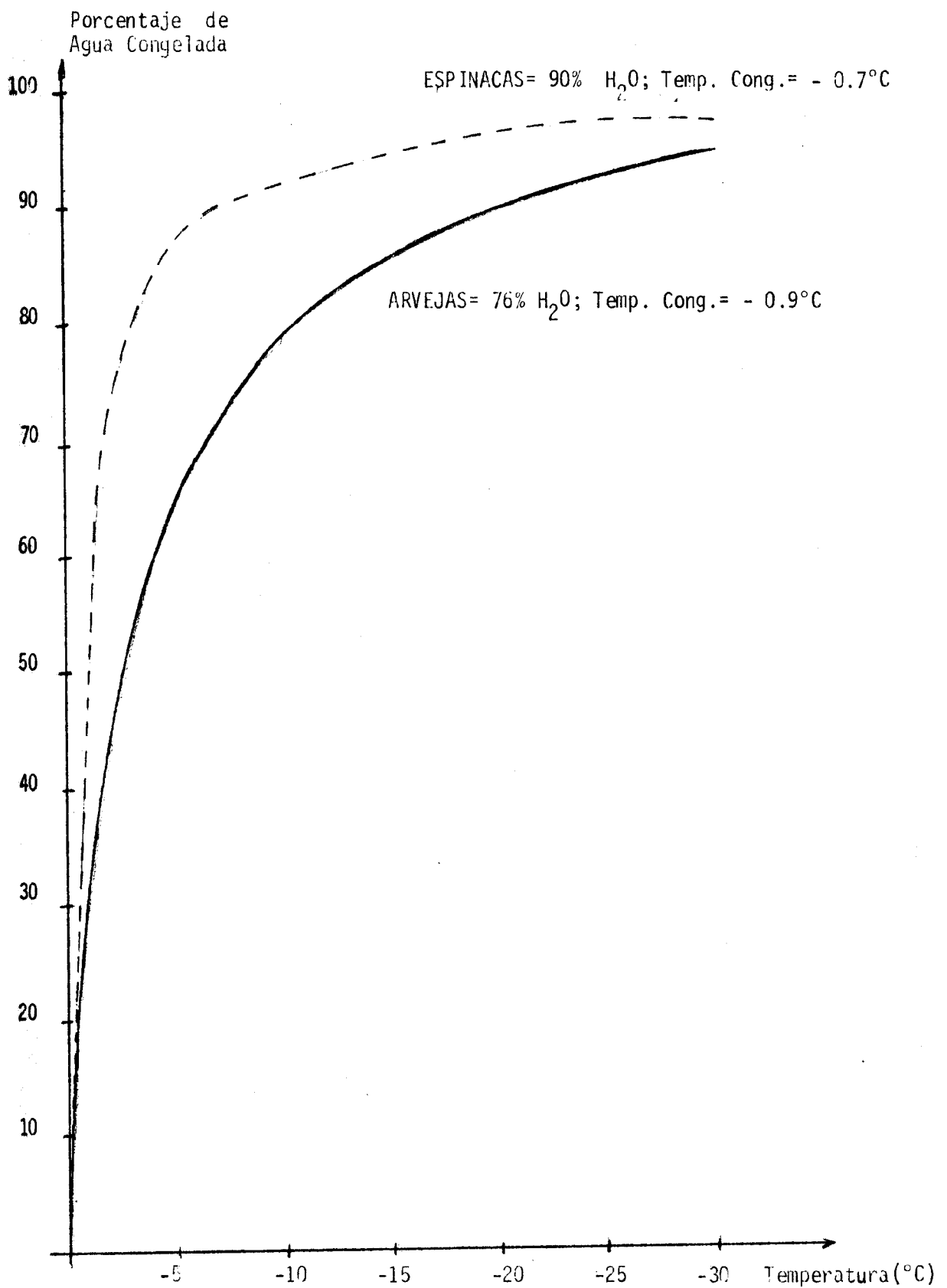
lado, se coloca en bandejas, ya sea --
suelos o en paquetes y las bandejas se
colocan en serpentines de congelamiento
en un ambiente de baja temperatura con
el aire frío dirigido hacia el producto.
El congelamiento así efectuado, puede--
realizarse en un túnel aislado.

El congelamiento de túneles es posible
mente el sistema de congelamiento más
usado. La temperatura del aire general
mente varía entre los -18°C y -34°C -
aunque pueden usarse temperaturas más-
bajas.

5.1.2.3. Frente de Congelación

Aunque el agua en los tejidos biológicos congela
sobre un rango de temperaturas, es muy útil tra-
tar el proceso de congelamiento y aún el de des-
congelamiento, como la propagación de un frente-
de transición de fase de temperatura constante.
Las aproximaciones más recientes en cuanto a mode-
los matemáticos asumen que el congelamiento ocu--
rre a una temperatura fija y definida, pero ade-
más toman en cuenta la geometría, la distribución
de la temperatura y las condiciones de frontera.

Lo anterior puede ilustrarse observando el grá--
fico N°2.



Graf. N° 2 Porcentaje de Agua Congelada Vs. Temperatura

5.1.3. Mecanismo de transferencia de calor y masa en la Liofilización

El proceso de Liofilización se compone en lo fundamental de un secado o eliminación de agua a partir de un estado congelado, y con el objeto de retener la mayor parte los volátiles valiosos, se realizará bajo alto vacío. Es -- decir de 0.1 a 1.0 torr.

El proceso de secado a baja temperatura dá lugar a velocidades lentas de secado, debido a los límites impuestos a las fuerzas motrices de la diferencia de temperatura y de la diferencia de presión parcial de vapor de agua para la transferencia de calor y masa .

El principal problema es llevar a cabo el secado más rápido mientras se preserve la buena calidad del producto.

El calor latente de sublimación debe viajar desde la fuente de calor a la superficie del material que está siendo secado, por un proceso de transferencia de calor externo. Este calor es transportado luego, por un proceso de transferencia de calor interno al punto dentro del material - donde la evaporación de agua ocurre realmente.

El vapor de agua generado debe alcanzar la superficie externa del material por un proceso de transferencia de masa interna y debe entonces viajar por un proceso de transferencia de masa al condensador de humedad anexo al tú--nel de liofilización.

Ambos procesos, actúan en serie uno con otro, cualquiera de ellos o una combinación serán los pasos de velocidad - limitante, dependiendo del diseño y de las condiciones de operación del equipo de deshidratación y finalmente de la las características del material que está siendo secado.

Los esfuerzos para obtener un secado más rápido deben estar dirigidos hacia la mejora de los coeficientes de -- transferencia de calor y masa y para incrementar el área interfacial por unidad de volumen de producto.

5.1.4. Tiempos de Liofilización

El análisis de la liofilización a fin de estimar el tiempo de secado, tiene en cuenta lo siguiente:

El secado procede desde las superficies expuestas hacia-hacia el interior. Las capas exteriores están completamen-- te secas en la medida que el centro de hielo retrocede.

La evaporación del agua ocurre en la superficie del cen-- tro de hielo. El calor de sublimación es conducido a la -- superficie del centro de hielo a través de la capa seca externa.

El agua evaporada se difunde a través de los poros de la capa exterior seca, antes de dejar el sólido y vaya a la atmósfera de la cámara de secado.

El secado simétrico ocurre cuando la velocidad a la cual el núcleo de hielo retrocede es igual tanto en el tope -- como al fondo del material. Asimismo, se asume una trans-- ferencia de calor unidireccional.

Para estimar el tiempo de secado en la liofilización de un alimento, existen algunas relaciones matemáticas obte-- das como aproximaciones teóricas que pueden ser útiles - para estimar el tiempo real de secado en la práctica.

A continuación se presenta una ecuación propuesta por -- Toledo para evaluar el tiempo de secado simétrico.

$$\theta = \frac{\Delta H_s (\rho) (X_o) (s)}{2k (1 + X_o) (T_a - T_f)} \left(\frac{k y}{h} + \frac{s y^2}{4} \right)$$

donde:

θ = tiempo de secado

ΔH_s = Calor de sublimación de hielo a T_f .

T_f = Temperatura en el centro del producto congelado.

ρ = Densidad del material húmedo.

X_o = Humedad absoluta inicial en base seca.

s = Espesor del sólido.

k = Conductividad térmica.

y = Fracción de agua sublimada = M_c / Agua total.

M_c = Masa de agua evaporada.

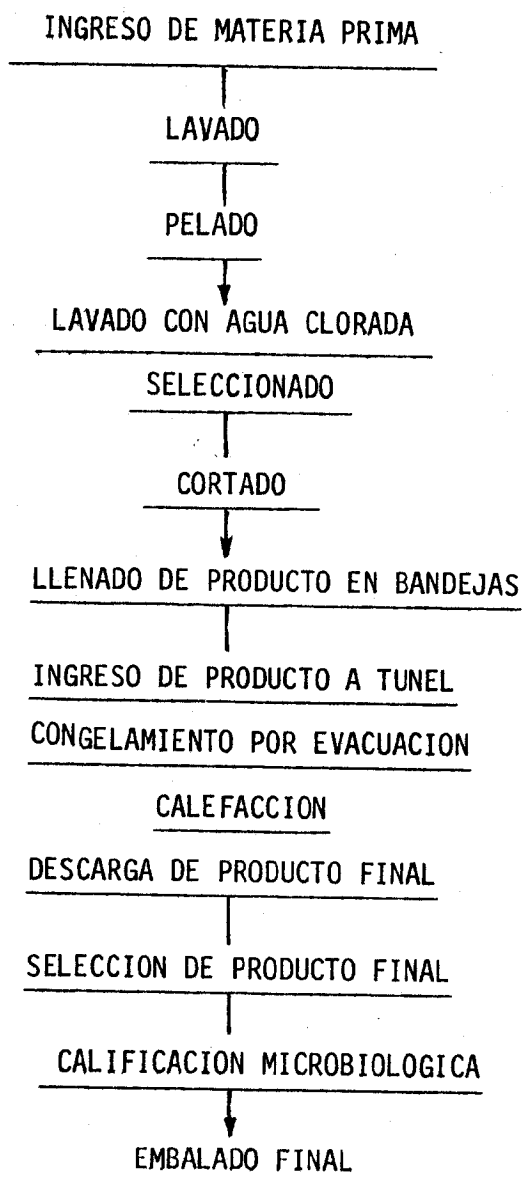
h = Coeficiente de película entre la superficie del producto y el medio.

T_a = Temperatura de la atmósfera en el secador

Como puede apreciarse, el tiempo de secado se incrementa en proporción directa a la densidad del material, al espesor del mismo y a la fracción del agua sublimada; y asimismo disminuye al aumentar el coeficiente de transporte de calor, y la temperatura del ambiente que rodea al producto entre las variaciones más importantes.

5.2 Tecnología de la Liofilización de Productos Vegetales.

5.2.1. Descripción del Procesamiento.



5.2.1.1 Ingreso de Materia Prima.

El abastecimiento diario de materia prima ya sea cebolla china, poro, vainita, etc. se programa - de acuerdo al rendimiento que tiene cada producto particular.

por ejemplo, una variedad de cebolla china si tiene un rendimiento de preparación del 77%, significa que por cada 1,000 kg de materia prima ingresante a planta 770 kg. entrarán al proceso de liofilizado y 230 kg. se considera como desperdicio, sin posibilidad de aprovechamiento o recicló. En las condiciones actuales, eventualmente puede -- proyectarse algunos usos alternativos de este - volúmen importante de vegetales.

5.2.1.2 Layado

Los vegetales, al provenir directamente de los -- campos de cultivo, tienen consigo cierta cantidad de material no deseado, tierras, carga bacteriana superficial, hojas maltratadas y catáfilos sueltos. En esta etapa, se busca facilitar el pelado manual posterior, y limpiar de manera enérgica - las peores contaminaciones.

Por lo general se utiliza agua a 50 psia.

5.2.1.3 Pelado

De acuerdo a cada producto, se eliminan aquellas partes no aptas para el consumo, permaneciendo en línea, solamente, el producto preparado destinado

al secado.

En general, todo vegetal a ser procesado, demanda un número mínimo de personas, para que realicen esta labor, e inclusive para un mismo vegetal varía este número de personal necesario.

Ejemplificando, si d = diametro de tallo

D = diametro de bulbo

en cebolla china, cuando $D/d > 1$ puede precisar - cerca del doble del número de personas que cuando $D/d = 1$.

5.2.1.4 Layado con agua clorada

Anteriormente, se ha señalado la necesidad de eliminar la contaminación proveniente de la flora original del vegetal a procesarse.

Se utiliza como agente descontaminante, el cloro a una concentración de 50 ppm como cloro libre, tanto en los layados a presión como en los layados de inmersión.

5.2.1.5 Selecccionado

El producto es revisado finalmente y acomodado -- para continuar en la siguiente etapa.

5.2.1.6 Cortado

La máquina de corte de vegetales es regulada para que el producto cumpla las especificaciones de cada cliente, de tamaño y uniformidad.

asimismo, es necesario contar con varios juegos de cuchillas, para cada vegetal en particular.

5.2.1.7 Llenado de Producto en bandejas

Inmediatamente, de ser cortado el producto se coloca en bandejas plásticas con perforaciones, de modo que pueda perder algo de volumen de agua captado, al ser lavado previamente.

Finalmente el producto es cargado en las bandejas metálicas de aluminio.

5.2.1.8 Ingreso de Producto al Túnel Liofilizador

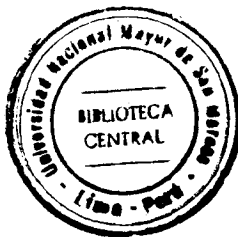
Las bandejas son colocadas sobre las placas destinadas a la circulación del medio calefactor.

A continuación se cierra herméticamente la cámara y se da comienzo al congelamiento.

5.2.1.9 Congelamiento por evacuación

El producto dentro de las bandejas, al ir disminuyendo la presión de la cámara, por efecto de la evacuación realizada por las bombas de vacío y por la condensación del agua del mismo, por parte del serpentín de refrigerante anexo al túnel, va perdiendo temperatura, hasta inclusive llega a congelarse a -30°C aproximadamente según los requerimientos técnicos del producto.

Este tipo de congelamiento tiene la particularidad que llega a eliminar más de 20% de la humedad del



producto ingresante, por lo que debe tenerse cuidado con ciertos productos que tienden a endurecerse o a decolorarse, e incluso a arrugarse. El tiempo necesario por lo general es de una hora.

5.2.1.10 Calefacción

Es la etapa de secado propiamente dicha, se inicia solamente, cuando el producto se encuentra debidamente congelado. En la mayoría de los productos, ello sucede a los -25°C , donde por lo general, se encuentra congelado el 85 % del producto .

La calefacción se programa de modo que, al comienzo, se trabaja con altas temperaturas en el medio calefactor, así no se prolonga demasiado el ciclo de secado, pero, por otro lado, debe mantenerse la presión de la cámara de secado, puesto que si, se excediese la carga calórica - sublimante, el producto puede romper el equilibrio existente y llegar al estado líquido, es -- decir, se funde, lo cual implicaría la pérdida irreversible de las cualidades de un producto liofilizado .

Al final del ciclo de secado, la temperatura - del medio calefactor se aproximará a la temperatura del producto, de manera que la humedad residual del producto es de 2 %.

El secado, prácticamente consta de 2 etapas-- el secado primario o sublimación ocurre en la primera mitad del tiempo de secado, llevando al producto hasta una humedad residual del --

10 % ; el secado secundario o desorción, se realiza en la porción final del proceso, hasta llegar a la humedad residual óptima de cada vegetal

5.2.1.11 Descarga de producto de túnel

Al final del ciclo de secado, el producto es colocado en bolsas de polietileno y llevado a un ambiente oscuro y seco.

5.2.1.12 Selección del producto final

Cuando las necesidades de despacho lo requieran, el producto es clasificado por tamaño, y son separadas aquellas fracciones que no entran dentro de las especificaciones exigidas por el cliente.

5.2.1.13 Calificación microbiológica

Si en la etapa anterior se busca seleccionar -- aquel producto que satisface los requerimientos de calidad física y organoléptica , por otra parte, debido a la naturaleza alimenticia del producto, es necesario que se asegure la inocuidad del mismo, por medio de análisis para determinar la presencia de coliformes, estreptococos, etc. - según las normas internacionales respecto a este tipo de productos.

Inclusive, existe la posibilidad que algunos productos contaminados, por las condiciones de baja humedad y relativa impermeabilidad del embalaje al oxígeno y al vapor de agua, puede disminuir el grado de contaminación, llegando a ser aceptable dentro de las normas exigidas al cabo de un año.

5.2.1.14 Embalado

El producto es llenado en bolsas de polietileno y en su interior se desplaza el oxígeno mediante una inyección de gas nitrógeno.

Por último, se embala en cajas de cartón corrugado convenientemente cerrado para posteriormente Almacenarlo en ambientes secos esperando el momento de despacho.

5.2.2. Equipamiento Empleado

- Túneles liofilizadores
- Sistema de Bombas de vacío
- Sistema de calefacción
- Sistema de Refrigeración por Absorción de Amoníaco
- Sistema de Enfriamiento: Torre de enfriamiento
- Caldero
- Sistema de Control Electroneumático
- Sistema de Control Electromagnético
- Compresor
- Máquina cortadora de Vegetales
- Clorinador
- Bombas

6.0 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LIOFILIZACION DE VEGETALES

6.1 Transferencia de calor y masa

En la liofilización de los materiales sólidos la velocidad de - secado puede estar gobernada ya sea por la velocidad de la difu sión del vapor o por la velocidad de la transferencia de calor a la superficie del hielo.

Existen dos procesos que ocurren durante la liofilización: en el primero, el calor se transfiere desde el exterior a la su perficie de hielo.

en el segundo, involucra la transferencia del vapor de agua de la superficie de hielo a través de la capa seca.

Se consideran las siguientes variables en la velocidad de se cado:

T_e = Temperatura de la fuente de calor

T_f = Temperatura del frente de sublimación

h_e = coeficiente externo al producto: transferencia de calor

h_i = coeficiente interno al producto : transferencia de calor

p_f = (presión parcial) vapor de agua en equilibrio con el frente de sublimación.

p_e = (presión parcial) vapor de agua en equilibrio con - condensador de humedad

k_{ge} = coeficiente externo de transferencia de masa al ma terial que esta siendo secado

k_{gi} = coeficiente interno de transferencia de masa en el material que esta siendo secado

Cuando la liofilización se lleva a cabo; el calor se suministra- a través de la capa seca y existe dos límites:

T_s = Temperatura de la superficie exterior a la que se produce daño térmico por desnaturalización.

T_f = Temperatura del frente de sublimación a la que se funde el producto.

El primer límite se encuentra cuando $h_i < k_{gi}$, k_{ge} entonces la T_s de daño térmico se alcanza primero, como consecuencia, solamente puede acelerarse el ciclo de secado, cuando h_i sea -- incrementado, por lo tanto, es un proceso controlado por la -- transferencia de calor. La mayoría de los procesos ocurren de esta manera .

Cuando la presión de la cámara se incrementa, disminuye k_{gi} , probablemente también k_{ge} e incrementa h_i . En consecuencia, existe una P_t (inertes + vapor de agua) de la cámara de secado, para la cual h_i se incrementa lo suficiente respecto a k_{ge} , k_{gi} de manera que el límite en T_f se alcanza primero, en la medida que la temperatura de la superficie externa sea aumentada.

Por lo tanto, ha llegado a convertirse en un proceso controlado por la transferencia de masa, debido a que una mayor velocidad de secado sólo puede llevarse a cabo, incrementando k_{ge} y/o k_{gi} .

En general debe tenerse en cuenta, que en cualquier proceso de liofilización, será deseable fijar el diseño y establecer las condiciones, de manera que el proceso no esté limitado por las resistencias externas ya sea a la transferencia calor y/o masa.

Las resistencias internas a la transferencia de calor y de masa son características del material que está siendo secado, pero las resistencias externas son características del equipo.

Cuando las resistencias internas a la transferencia de calor y de masa no son controlantes, será posible acelerar la velocidad de secado, incrementando el coeficiente externo de transferencia

de calor y/o del coeficiente externo de transferencia de masa y siempre será más rentable hacer eso, en terminos de la capacidad de secado. De esta manera uno puede llevar a cabo el secado a plena capacidad permitida por las propiedades internas del material que esta siendo secado.

Se ha observado que en la medida que la presión de la cámara de secado se incrementa, los coeficientes externos de transferencia de masa, obedecen más ajustadamente a las predicciones de la teoría de transferencia de masa conductiva y convectiva.

En general, respecto a la transferencia de vapor a través de un material poroso, existen dos tipos importantes de flujo:

- El flujo viscoso o Poiseuille: cuando la longitud del paso medio libre de las moléculas de vapor es pequeño comparado con las dimensiones del poro.
- El flujo tipo Knudsen o de Difusión, se aplica en el caso donde el paso libre medio es mucho mayor que las dimensiones del poro y en la cual, las moléculas de vapor progresan por las colisiones entre las paredes.

Se ha notado que cuando existen grandes diferencias de presión entre el hielo y la cámara, existen condiciones de flujo hidrodinámico, sin embargo cuando las diferencias de presión son pequeñas, la difusión controla el flujo.

Es evidente que la diferencia de presión entre la fase de hielo y la cámara variará durante el secado. Si el material que está siendo secado tiene una baja permeabilidad, se puede esperar que la difusión iniciará el control cuando exista una pequeña diferencia de presión entre la cámara y la fase de hielo; sin embargo, en la medida que la capa seca llega a ser más gruesa y la caída de presión es mayor, un flujo hidrodinámico gobernará el transporte de vapor.

Durante la liofilización de la mayoría de vegetales la temperatura en la fase de hielo permanece constante a través del periodo de secado y es casi similar a la temperatura de equilibrio -- con la presión en la cámara. Ello indicaría que la diferencia -- de presión es muy pequeña a través de la capa seca y la difusión es el fenómeno controlante del transporte de vapor.

Finalmente, debe esperarse que bajo condiciones de movimiento -- del vapor a través de la difusión, la transferencia de calor a -- la fase de hielo limitará la velocidad de secado y ya no, el -- flujo de vapor.

Cuando el transporte de vapor es el proceso controlante en la -- liofilización, debe tenerse en cuenta que la temperatura de la -- fase congelada no llegue al punto de fusión.

6.2 Condiciones de Congelado

El congelamiento se realiza por evacuación, mediante la acción -- simultánea de las bombas de vacío, para la eliminación de los ga -- ses incondensables, tal como el aire, y la circulación de un re -- frigerante a través de un serpentín que se encuentra anexo al -- túnel liofilizador.

Este serpentín, es evaporador con respecto al refrigerante, pero es condensador con respecto al agua del producto, dado que el -- agua a sublimarse será captada hasta el final del proceso.

Entonces, el congelamiento se efectúa en la misma cámara de seca -- do o túnel liofilizador, y al iniciarse el congelamiento, la cá -- mara comienza a disminuir la presión, a la vez que el producto -- sufre una deshidratación parcial, que consiste principalmente -- en la eliminación del agua proveniente del layado previo.

Cuando un producto es enfriado, la cristalización del agua del mismo, no va a comenzar a (0°C , 6.2 milibares) como se esperaría según el diagrama de fases del agua pura (Gráfico N°3); sino que de acuerdo a su complejidad de enlaces, se encuentra - ya sea, como una dispersión molecular con sustancias solubles - tales como los azúcares, ácidos y sales, también puede estar - como solución coloidal, por la dilución de macromoléculas en -- equilibrio reversible sol y gel , y finalmente se le encuentra como emulsión con cuerpos grasos.

El producto vegetal, entonces poseerá un determinado porcentaje de agua que determinará una diferencia, y.b. (-2°C , 4 mbar.).

A este punto, es conveniente tener en cuenta que durante el -- congelamiento, las membranas de las células de los organismos -- atraen las moléculas de agua y las acomodan en su superficie, - según un ordenamiento estrictamente definido para formar un en rejado de cristal parecido al hielo.

Estructuralmente, la mayoría de las moléculas de grasas , proteínas y carbohidratos se conforman a la estructura del hielo y en tonces no se dañan cuando se congela el producto.

En la práctica, se ha confirmado que la estructura del cristal - tiene una gran influencia en la posterior sublimación. Los cristales grandes, dejan una estructura cristalina relativamente abierta a la sublimación del agua, mientras que, los cristales - muy pequeños, producidos por un congelamiento abrupto, deja in -- terespacios estrechos que impiden la transferencia de calor.

Convencionalmente, se considera que una velocidad lenta de congelamiento es de : $0.02^{\circ}\text{C}/\text{min}$. y que las velocidades rápidas - de congelamiento se encuentran a partir de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Por otro lado, la velocidad de congelamiento, al determinar el ta

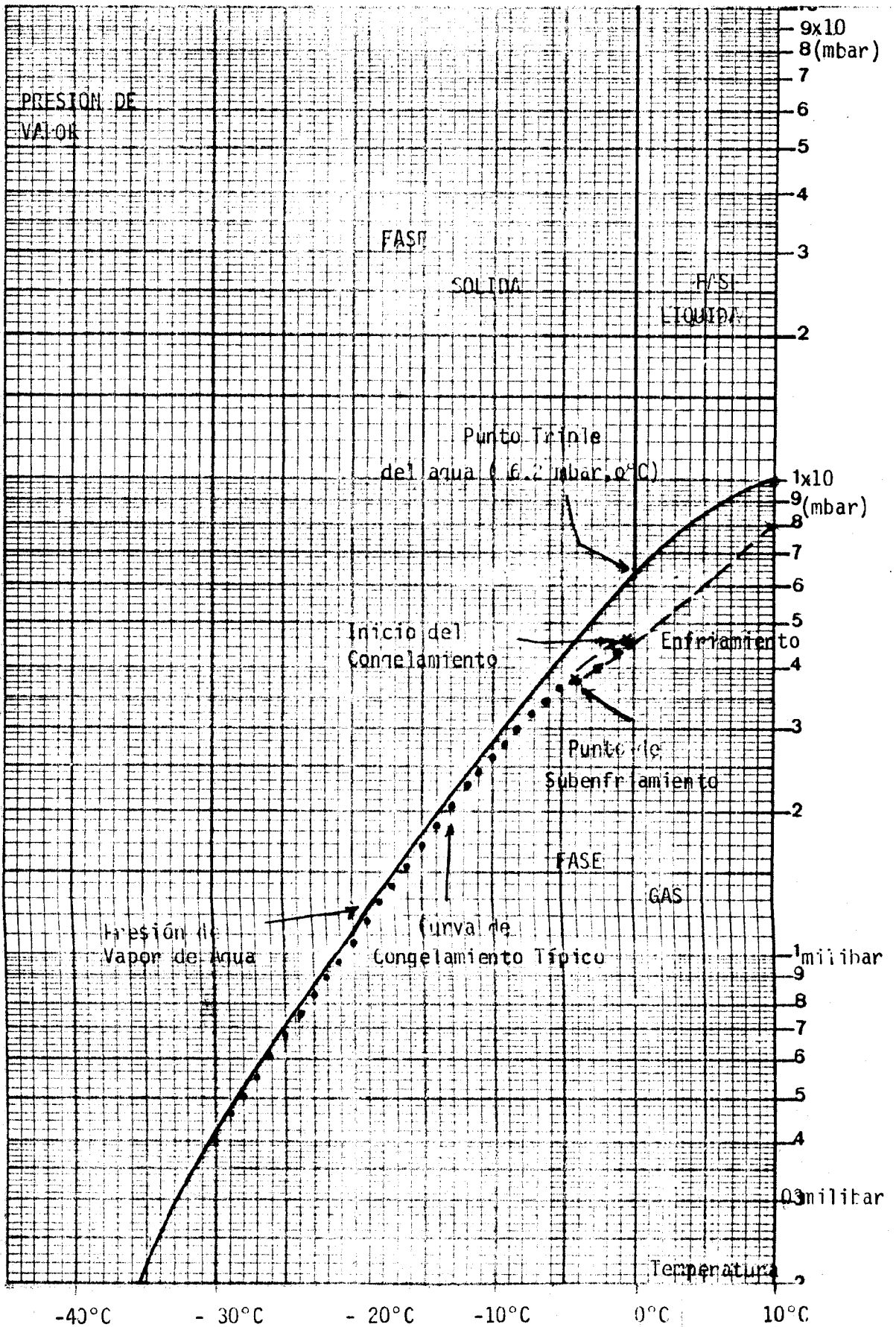


Grafico N°3 Comparación de la curva de congelamiento del agua y la del Congelamiento de un vegetal (Presión de vapor Vs. Temperatura)

maño de los cristales de hielo, también influenciará en la apariencia externa del material seco. De tal forma que, el producto congelado con cristales de hielo más pequeños, tiene un color mucho más claro, cuando se seca, que un producto que fue congelado lentamente para formar cristales grandes.

Una técnica adecuada de congelamiento puede determinarse realmente para productos específicos; tan pronto como el método de congelamiento ha sido determinado, el punto de congelamiento y el punto de completa solidificación del producto deben ser especificados para el control del proceso de liofilización.

Por ello, debe diferenciarse la velocidad de congelamiento de cada producto, de acuerdo a la presión de vacío alcanzada en el inicio del congelamiento, pues esta presión está en estrecha correspondencia con la temperatura del producto.

En realidad, por las experiencias realizadas, se debe tener en cuenta que existe un rápido incremento del porcentaje del agua congelada del producto entre los 0°C y los -5°C , llegando en el caso particular de los vegetales, hasta el 80 % de agua congelada, por lo que dicho rango e incluso hasta los -10°C es determinante con respecto a la velocidad de congelamiento usada.

Ejemplificando lo anterior, se tiene que en el caso del cebollino -Se obtuvo excelentes resultados en cuanto a la retención del color para velocidades de congelamiento inicial de $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ para el rango aproximado de -1°C hasta -4°C , que como anteriormente se ha descrito, implica el congelamiento de cerca del 70 por ciento del agua del producto.

Como se aprecia, la decisión de disminuir la velocidad de congelamiento normal ($1^{\circ}\text{C}/\text{min.}$) hasta valores de $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ implica un retraso deliberado, por lo que es necesario disminuir la velocidad dentro de lo económico, por ejemplo, limitarse a conge-

lar el producto dentro del lapso de una hora.

6.3 Efecto de las condiciones de deshidratación en la calidad del producto

En la forma convencional de liofilización, la temperatura más alta en el alimento es aquella alcanzada por la superficie de la capa seca, mientras que la temperatura del hielo es determinada por la presión mantenida en la cámara de secado y por lo tanto existen dos temperaturas críticas que deben ser controladas para minimizar algunos cambios indeseables durante el proceso; la primera de éstas es la máxima temperatura de la capa seca y la segunda es la máxima temperatura del hielo.

Algunos factores que limitan la temperatura de la superficie :

- Destrucción de los pigmentos ,tal como los carotenoides .
- Desnaturalización de las proteínas.
- Fusión de las grasas.
- Oscurecimiento no-enzimático de materiales con alto contenido de azúcares.

6.4 Reacciones Bioquímicas

En la fase previa al secado, de acuerdo a cada producto en particular, se incluye un pretratamiento para evitar reacciones como:

- Pardeamiento no enzimático.
- Oxidación de lípidos y de pigmentos.
- Pardeamiento enzimático.

A) Pardeamiento no enzimático:

Se produce a través de tres mecanismos diferentes, que por la complejidad del sistema donde se realizan (alimentos) puede darse en combinación e interacción :

A,1) Reacción de Maillard.- ocurre por la interacción de los

aminoácidos(libres o combinados como péptidos y proteínas) con azúcares reductores.

A.2) Reacción que involucra al ácido ascórbico.

A.3) Caramelización de azúcares, catalizado o sin catalizar por ácidos.

Ejemplos:

Pueden aparecer en el huevo deshidratado y en la leche en polvo en las verduras deshidratadas, en las frutas y en la enlatada.

En general, el pardeamiento no enzimático se considera como una reacción deteriorativa que involucra el grupo carbonilo de un azúcar reductor y el grupo amino de un aminoácido o proteína.

Los productos de la reacción son sustancias insolubles, poliméricas, de color marrón, que cambian el color del producto y provoca la formación de sabores extraños e incluso existe pérdida de valor nutricional.

Tiende a ocurrir más rápidamente a valores intermedios de humedad. Por lo tanto es mejor trabajar con secado a baja temperatura, dado que ésta influye muy rápidamente en las reacciones deteriorativas.

Definitivamente, una ventaja de la liofilización frente a este tipo de fenómeno, es que la transición de un estado hidratado a una condición seca, se realiza relativamente rápida.

En el caso de necesitar otros medios complementarios de prevención, se tendrá presente lo siguiente;

- Refrigerar los alimentos, inmediatamente después de la etapa de preparación, principalmente a aquellos sujetos a este tipo de cambios.

- La presencia de SO_2 o sales del ácido sulfuroso inhibirá las reacciones de Maillard (por bloqueo de los grupo carbonilo) -- Asimismo, inhibirá el pardeamiento por su efecto antioxidante (previniendo la oxidación del ácido ascórbico),
- Uso de sacarosa o fructosa en lugar de azúcares reductores, en tanto éstas no sufran inversión durante el almacenamiento.

Usualmente se recomienda el uso de las temperaturas y/o el sulfataje, como los medios más usados, teniendo en cuenta que la adición de SO_2 no debe alterar el sabor del producto.

B) Oxidación de Lípidos y de Pigmentos

En lo que se refiere a la oxidación de los lípidos se debe destacar que aumenta según la temperatura, influyendo ésta también en el mecanismo.

- Los ácidos grasos absorben la radiación ultravioleta, ya sea de la luz solar o de la de los fluprescentes de alta energía, llegando a ser un factor al promover el inicio de la reacción en cadena.
- En sistemas con relaciones superficie/volumen muy grandes, tales como los deshidratados, la velocidad de oxidación es muy rápida y casi independientemente de la presión de oxígeno. La exclusión del aire (vacío o atmósfera de nitrógeno y empaque poco permeable al oxígeno) puede ser incluso insuficiente en sistemas lipídicos muy dispersos, tal como polvos de sopa instantáneo.
- También es necesario tener en cuenta que los iones de metales como el hierro, cobre, manganeso, pueden ser poderosos catalizadores de la oxidación de los lípidos.

Como antioxidantes se recomienda el uso de BHA, BHT, PG; además existen los " sinergistas " capaces de aumentar considerablemente la acción de los antioxidantes primarios, tales como el ácido cítrico y la lecitina purificada.

Con respecto a la oxidación de los pigmentos, se tiene que la

degradación de la clorofila en los vegetales procesados se --
lleva a cabo por un mecanismo de oxidación.

Dicho deterioro oxidativo, se encuentra relacionado con la -
oxidación enzimática de los lípidos debido, posiblemente, a
que en los tejidos vegetales, la clorofila, los carotenoides
se encuentran unidos de algún modo a las proteínas, lípidos-
y lipoproteínas.

Así, la pérdida del color verde en las verduras que han su-
frido blanqueo incompleto, sería el resultado indirecto de +
la oxidación de los lípidos, inducida por la lipoxigenasa --
mientras que la decoloración de las verduras excesivamente -
blanqueadas, podría atribuirse, al menos en parte a la acción
de los radicales libres oxidantes formados a partir de lípi--
dos como resultado del daño térmico

En la degradación de la clorofila, algunos de los productos -
son responsables del desarrollo o de olores peculiares simi-
lares al heno, que acompañan a la pérdida del color verde.

Por otro lado, en el mismo tejido vegetal se encuentra pre--
sente la enzima Clorofilasa, su acción ocasiona el despren-
dimiento del fitol de la clorofila dando como resultado, la so-
lubilidad en el agua del pigmento verde.

Se sabe que la actividad de la clorofilasa aumenta en muchos
frutos con la madurez; aunque se da el caso que algunas legum-
bres no contienen la clorofilasa, tales como arvejas, frijo-
les verdes, espárragos.

Junto con la clorofila, se encuentran los carotenoides: caro-
tenos y xantófilas, e incluso se hallan localizados en otros
lugares de la planta. Entre aquellos son los responsables del
color particular de las zanahorias, papas, tomates, duraznos

cítricos, pimientos, ajíes. (En color , vará desde el amarillo - naranja al púrpura).

Debido a su naturaleza química, altamente insaturada los -- carotenoides tienen tendencia a oxidarse rápidamente, particulamente en los dobles enlaces. A medida que se saturan dichos enlaces, con el oxígeno, hasta finalmente romperse, el color-- característico de los carotenoides, ya desapareciendo.

La oxidación de los carotenoides y la autooxidación de las-- grasas tienen muchos aspectos en común y a menudo, se encuentran interrelacionadas en los alimentos. Siendo el factor individual, más importante la presencia de oxígeno, cuyo efecto es mayor a temperaturas más elevadas.

Se debe tener en cuenta que la pérdida de color en muchos casos, es más veloz en ausencia de agua por lo que es necesario que existan contenidos de humedad cercanos a los valores de -- la monocapa de BET, como efecto protector sobre los carotenoides.

Probablemente, ello sea debido a que al hidratarse, deactiva los metales que catalizan la reacción de activación y además la formación de enlaces hidrógeno con los hidroperóxidos,previene la reacción de iniciación.

Finalmente, las verduras deshidratadas se deben envasar en recipientes opacos bajo nitrógeno, poco permeables a la luz, oxígeno y vapor de agua, de un lado, e impermeables al olor por otro lado. En forma comercial se emplea otro método que evita la destrucción del caroteno, mediante una cobertura de los trozos con una película de almidón, antes de la -- deshidratación.

C) Pardeamiento Enzimático.

Las reacciones enzimáticas pueden ocasionar la degradación en varias maneras que incluyen el enmarronamiento enzimático de frutas recién cortadas, resquebrajamiento de las moléculas de almidón con la producción de azúcares simples, hidrólisis de lípidos, modificación en el sabor de los carbohidratos, rancidez en los aceites, cambios en el sabor o en el valor nutritivo.

Aunque la mayoría de las enzimas son muy termolábiles pues se inactivan sobre los 90°C, en el procesamiento se necesita que cese toda actividad enzimática.

No obstante, la peroxidasa vegetal es particularmente estable y puede soportar algunos minutos hasta 120°C sin perder completamente su actividad.

La etapa inicial del pardeamiento enzimático es la oxidación catalizada por las enzimas, de los derivados del catecol para dar las ortoquinonas correspondientes. Siendo las enzimas involucradas: la polifenolasas que son cupro proteínas.

Para que ocurra el pardeamiento debe presentarse 3 factores:

- Sustratos fenólicos adecuados
- Fenolasas activas
- oxígeno

Sin embargo, los métodos de prevención más utilizados se dirigen a la inactivación de las enzimas.

Inactivación térmica de las fenolasas: por medio del blanqueo (en vapor o en agua caliente) de acuerdo al producto varía el tiempo de exposición. El blanqueo, también desactiva la lipooxidasa, que se encuentra en las oleaginosas, legumbres y cereales. Si no se elimina, puede generar sabores rápidos.

mente en las arvejas deshidratadas o destrucción oxidativa de los carotenoides de los deshidratados.

El blanqueo debe realizarse con el debido cuidado pues rompe la estructura celular y aumenta el contacto entre la enzima y el sustrato y si el tratamiento térmico no es completo no es completo y suficientemente rápido, se acelerará el pardeamiento, en lugar de prevenirlo.

Empleo de ácidos:

El PH óptimo para la mayoría de fenolasas está en la vecindad de 7 . Al disminuir el PH a valores por debajo de 4 se retarda considerablemente la actividad de la fenolasa. El agente más usado es el ácido cítrico, debido a su acción quelante sobre el cobre. También puede usarse ácido málico. También se ha generalizado el uso del ácido ascórbico, pues retarda el pardeamiento, debido a su poder reductor, reduciendo las orto quinonas a sus orto difenoles originales. En combinación con el ácido cítrico se emplea a menudo como inhibidor de pardeamiento en la industria de la fruta congelada.

El uso de Bioxido de Azufre:

Inhibe las fenolasas actúa como SO_2 o como sales de ácido sulfuroso, es un fuerte agente reductor (reduciendo ortoquinonas) se adiciona como SO_2 a las mismas previniendo la polimerización a pigmentos oscuros. Sin embargo, decolora los pigmentos de antocianina destruye la Tiamina (vitamina B_1) y provoca olor y sabor objetable a concentraciones de 30 - 50 ppm.

Empleo de la sal:

Produce la inactivación de las fenolasas; al sumergir las hortalizas en soluciones diluída de cloruro de sodio, inmediatamente después de pelada y cortada a fin de retardar el pardeamiento, siendo suficientes unos pocos gramos por litro.

Particularmente, el pardeamiento enzimático se produce rápidamente en manzanas, plátanos, papas, patatas, berenjenas, hongos, etc.

Existen casos en los cuales, la reacción enzimática se manifiesta recién cuando el producto final liofilizado es reconstruido con agua para el consumo, por ello debe establecerse la rutina de la prueba de peroxidasas o de catalasa para verificar la calidad del blanqueo.

6.5. Embalaje de Productos Liofilizados

La vida útil de un alimento liofilizado es considerablemente afectada por el sistema de embalaje, y los factores que afectan el mismo pueden agruparse en los siguientes:

- Presencia de oxígeno
- Presencia de humedad
- Contaminación del sabor
- Daño mecánico
- Contaminación por agentes biológicos
- Exposición a la luz visible y ultravioleta

La protección depende del tipo de material de embalaje, de las condiciones de operación, de la maquinaria, de las dimensiones y los métodos de sellado, de las condiciones de distribución y almacenamiento.

Con respecto al grado de protección requerido es posible clasificar los alimentos liofilizados en tres categorías:

- A) Alimentos que requieren máxima protección contra el oxigeno, vapor de agua, luz, daños mecánicos y la contaminación tales como la carne porcino, ostras y camarones.
- B) Aquellos que requieren alto grado de protección contra el oxígeno, bapor de agua, luz y contaminación, pero no presentan mayor problema de daño mecánico. En esta categoría se -- encuentran polvos susceptibles a la oxidación y oscureci-- miento, tal como purées, huevos, jugos de frutas y leche en tera.
- C) Productos que requieren solamente protección contra el ingreso de agua y relativamente pequeño daño a la oxidación y da-- ño mecánico, algunos vegetales, las conservas de hongos se encuentran en esta categoría.

6.6 Rehidatación

La etapa final del ciclo de los productos liofilizados es la rehidratación el cual es de gran importancia en la calidad - del producto. Las variables en la rehidratación son:

- Tiempo
- Temperatura
- Desplazamiento de aire
- PH
- Resistencia iónica

Los cambios más importante los cuales pueden ocurrir durante la rehidratación son:

cambios en las proteínas, redistribución de componentes solubles y enzimáticos.

El más importante de éstos son los cambios morfológicos y fisi^{co}químicos en la red de proteínas el cual afecta el grado de rehidratación.

La rehidratación puede ser eyaluada en términos de agua total - reabsorbida por el alimento o en términos de capacidad de retención de agua, la cual es una medida de la cantidad de agua -- presente en el alimento después de la aplicación del medio - hidratante a diferentes temperaturas.

7.0 CONTROL DE CALIDAD

7.1. En Materia Prima

El control de calidad en la materia prima se constituye el pilar sobre el cual se apoyarán todas las demás áreas de la planta.

La materia prima debe seleccionarse teniendo en cuenta los siguientes requerimientos mínimos:

- Óptima calidad, pues ello influirá aún en la vida útil del -- producto liofilizado.
- Textura, sabor y color deseados.
- Adecuada edad de madurez.
- Vegetales frescos y enteros
- Rendimiento adecuado: ello se refiere al porcentaje de sólidos mínimo para hacer rentable el liofilizado; además el rendimiento de preparado debe estar dentro de lo regular.

Complementariamente, debe tenerse en cuenta el proceso de respiración de los vegetales posterior a la cosecha: dado que ésta -- finaliza el intercambio de materia entre la fruta u hortaliza con el resto del vegetal.

Como sistema biológico independiente, ya a exhibir una considerable actividad química en la que los procesos respiratorios juegan un papel de importancia.

Bajo condiciones aeróbicas, los vegetales continúan respirando -- (absorbiendo O_2 y expeliendo CO_2) y oxidando sus reservas de carbohidratos.

La mayor parte de la energía liberada se desprende como calor y se producen muchos cambios químicos que influyen en la calidad. Siendo algunos de estos cambios:

- Desaparición de la astringencia y el sabor agrio.
- Cambios en la acidez.
- Desaparición de la clorofila y síntesis de los pigmentos.
- Ablandamiento de los tejidos por descomposición de las pectinas
- Desarrollo o destrucción de algunos constituyentes del olor.

Entonces la preservación durante largo tiempo de los vegetales-frescos, requiere un retardo del proceso de maduración:

-Por refrigeración:

Aunque el almacenaje a baja temperatura sólo puede prolongar la vida útil, del vegetal sin procesar hasta determinado punto.

-Por refrigeración con atmósfera controlada:

Determinándose experimentalmente la fórmula óptima de la atmósfera, para cada serie de condiciones (variedad, madurez, temperatura y tiempo deseado).

Finalmente, al trabajar con productos de óptima calidad ha de -- procurarse mantener dicha norma, evitando magullamientos que dañan la protección externa y los predisponen a los ataques microbianos y fúngicos; además, escoger los embalajes de recolección y de manejo, para limitar el amontonamiento del producto, los choques, etc. y manipular cuidadosamente las frutas y hortalizas.

Por otro lado, para dar una idea concreta de lo importante que -- es el rendimiento de materia prima respecto a la rentabilidad -- del proceso, se exponen dos casos posibles :

Caso a) 300 kg. de materia prima preparada lista para el proceso de secado, produce 40kg. de liofilizado; debido a que la materia-prima tiene 17 % de sólidos totales, es decir 83 % de humedad.

Caso b) 300 kg. de materia prima preparada produce 14 kg. de liofilizado; debido a que la materia prima tiene 7% de sólidos totales, es decir 93 % de humedad.

En ambos casos, el tiempo de secado es similar, e inclusive en el segundo caso es muy posible que se necesite tiempo adicional de procesamiento, haciéndolo menos rentable .

7.2. En el producto terminado

7.2.1. Aspecto físico

-Presentación: debe ser similar al producto fresco, la --
contracción debido al secado, no debe sobrepasar el 5 %
y cuando es cortado, es muy importante la uniformidad.

-Manejo: con respecto al peso, se reduce en un 90 %, en -
frutas y hortalizas; en cuanto al volumen, no hay mucha
variación, en el caso cuando se liofiliza líquidos y lue
go va a molienda, se busca la instantaneidad de sus pro-
piedades por el aumento de su superficie, e inclusive es
excepcional para bebidas de ciertos ingredientes aromá-
ticos, tales como el jugo de maracuyá y otros.

En cambio, si se liofilizara sólidos y luego se pasara--
a molienda, se desaprovecharía su presentación, por lo --
que éstos se comercializan, ya sea enteros, en mitades, en
rodajas, o en cubos, siendo prácticamente similar su volu
men al del producto fresco, una vez que se ha reconstitu-
ído al rehidratarse.

-Resistencia a los choques: el producto liofilizado es ---
frágil y sensible a los choques, por lo tanto, el emba--
laje proveerá la protección a la atmósfera externa y a
los eventuales choques.

7.2.2. Aspecto organoléptico

El producto liofilizado, típicamente comercial, es de va--
lor elevado y justifica su precio por las ventajas en la
textura, sabor, olor y color.

-Textura: se exige al producto liofilizado, que sea cro-
cante y si está cocinado no debe ser demasiado blando;--
al 'tener una textura' debe poseer una organización --

tisular susceptible de turgencia.

-Sabor y olor: la conservación de los componentes del gusto, tales como los compuestos volátiles, es innegablemente, la ventaja esencial de la liofilización, asegurándole un mercado limitado pero seguro.

Un porcentaje limitado de compuestos volátiles se pierde con el vapor de agua, pero menos que en el deshidratado convencional.

Las mayores alteraciones del gusto aparecen durante el almacenamiento, y con respecto a los vegetales, la oxidación de los cuerpos grasos, por pequeño que sea su contenido, provocará el gusto a "heno", indeseable. Por ello, la liofilización presenta más ventajas para alimentos de menor contenido de lípidos y ricos en aroma: legumbres, setas, langostinos, bebidas instantáneas.

-Color: conceptualmente, el color es una consecuencia de la absorción selectiva de una determinada longitud de onda del espectro visible.

Aunque la constitución atómica y electrónica de las sustancias es el factor más importante que determina la naturaleza del color de las mismas, las variaciones en la estructura cristalina y en la forma de las partículas de éstas pueden modificar considerablemente esta propiedad óptica.

Estas consideraciones se deben tener en cuenta, para la comprensión acerca de la naturaleza de la retención del color en la liofilización, pues el color se conserva mejor que en otros procesos.

En este caso debe señalarse que las condiciones de congelación

lado,afectarán el tamaño de la partícula de cristalización, y ésta a su vez determinará el color del producto.

En general existen dos métodos de retención de color en la liofilización : -congelamiento lento
-ciclado continuado desde una fusión parcial hasta un recongelamiento -- durante el secado.

7.2.3. Aspecto nutricional

- Proteínas : ordinariamente no son afectadas,y existen -- pérdidas mínimas durante el blanqueo.
- Aminoácidos : se conservan.
- Grasas y azúcares: no son degradados.
- Sales minerales : son susceptibles de pérdidas en el -- blanqueo .
- Vitaminas : B₁ por su solubilidad y su sensibilidad al - calor implica 30 % de pérdida,es mayor si se sulfita y mayor aún si se blanquea.
B₁₂ es estable,con los cambios de temperatura
Caroteno y Pro-vitamina A: no se alteran.
C es la más sensible, aún con la estabiliza
ción por sulfitaje, se pierde aproximadamen
te un 20 % durante la liofilización.

Respecto al valor nutritivo,se da el siguiente orden :
fresco , surgelado , liofilizado , apertizado .

7.2.4. Aspecto microbiológico

Los productos vegetales constituyen una fuente abundante de alimentos.Según sea el vegetal,la naturaleza de la -- parte comestible es variable ; raíz, tubérculo, bulbo, - hoja, fruta, grano, flores y evidentemente dicha varia -- ción determinará su microbiología.

Respecto a las verduras, constituyen un grupo muy heterogéneo debido a su diversidad de estructura y composición química. Su pH es generalmente $\gg 5$.

Las verduras están relativamente protegidas contra los microorganismos y a la contaminación gracias a la presencia de los tegumentos.

El gran contenido de agua, la presencia de carbohidratos, y eventualmente de proteínas y vitaminas, va a favorecer el desarrollo microbiano, una vez que ha superado las defensas propias del vegetal.

La flora inicial está constituida por la flora original - y por la flora de contaminación. Esta flora se modificará en el curso del procesamiento hasta el término de la liofilización.

Los numerosos micro-organismos (bacterias y levaduras) - son destruidos en el transcurso de los tratamientos que hacen intervenir tanto el calor como la congelación, en tanto que solamente pueden resistir las esporas bacterianas y fúngicas .

Sin embargo, durante el almacenamiento el número de microorganismos disminuye, pues los productos liofilizados son estables, en la medida que la humedad no aumente, dado que el desarrollo de los contaminantes está determinado por la actividad del agua a_w del producto.

Si se tiene en cuenta que los productos liofilizados poseen un a_w de 0.02, y que las bacterias necesitan alrededor de 0.92 - 0.99; y mas bien los mohos pueden desarrollarse a $a_w \leq 0.85$, por lo tanto es evidente que el producto liofilizado no es el ambiente favorable para ellos.

En general, los alimentos liofilizados tienen normas que estipulan la calidad microbiológica:

-Flora fúngica	500/g.
-Levaduras	500/g.
-Flora 'total'	5×10^5 /g.
-Coliformes	1×10^3 /g.
-Escherichia Coli	10/g.
-Esporas anaerobias	
Sulfito-reductoras	10/g.
-Estafilacocos	10/g.
-Ausencia de Salmonella en 25 g.	

Particularmente, cada cliente a nivel comercial hace llegar sus especificaciones requeridas.

7.3. Conservación del producto liofilizado

Los principales parámetros que limitan el almacenaje de los -- productos liofilizados son :

- Temperatura : 20°C ,Europa ,U.S.A. 2 años.
- Humedad : no superar el umbral establecido.
- Contenido de Oxígeno : máximo 2 % en el embalaje.
- Presencia de la luz.

La duración de la vida útil depende de :

- La presencia de enzimas.-deben ser inactivadas por un pretratamiento adecuado (blanqueo).
- La humedad residual.-condiciona la actividad enzimática y todas las otras reacciones degradativas. Se ha mantenido un porcentaje promedio de 2 % de humedad, como extrapolación de la - ind. Farmacéutica, sin embargo, se estudia el porcentaje adecuado para cada producto en particular.
- Estabilidad en el tiempo.-en condiciones normales ,con un buen embalaje y almacenamiento a temperatura ambiente, la duración

de la vida útil es muy superior a otros deshidratados. Un producto caro, como el liofilizado no se fabrica para ser consumido después de 2 años, sin embargo, la vida útil de legumbres y cereales liofilizados alcanza fácilmente los 3 a 5 años.

8.0 ASPECTOS ECONOMICOS Y DE MERCADO EN LA LIOFILIZACION DE LOS PRODUCTOS VEGETALES.

8.1 Costo de Producción

La estructura de costos puede resumirse genéricamente de la siguiente manera :

RUBRO	PORCENTAJE
Materia Prima (producto vegetal fresco)	36
Mano de obra directa	20
Acondicionamiento y embalaje	11
Combustible	9
Electricidad	9
Agua	4
Gastos Administrativos	11
TOTAL	100

De lo expuesto, se hace evidente la importancia que tiene el poder contar con Areas de Cultivo propias que puedan abastecer -- los diferentes vegetales que se requieren.

En la actualidad, esta alternativa se ve favorecida por las facilidades que se brindan a la actividad agrícola por parte del -- presente régimen.

Por otro lado, se aprecia que la mano de obra directa, constituye un renglón muy importante dentro del Costo de Producción, y -- tal vez ello permite que Liofilizadora del Pacifico compita --

ventajosamente en el mercado internacional, debido a que como se sabe, la mano de obra directa, aún sigue siendo más barata en los países del Hemisferio Sur con respecto a los del Hemisferio Norte .

Finalmente los Servicios propios del funcionamiento de la Planta de Liofilización (Combustible, Electricidad, y Agua) constituyen prácticamente la cuarta parte del costo de producción y es asimismo destacable la importancia del costo en la buena conservación del producto final, que se logra por medio del acondicionamiento y embalaje (Cajas de cartón corrugado, bolsas y nitrógeno).

Para dar una idea concreta del costo de los productos liofilizados, baste decir solamente que en la actualidad (diciembre 1986) el kg. de producto vegetal liofilizado está sobre los 20 U.S.D. o equivalente nacional de 300 intis por kg.

Como se ha visto anteriormente, es muy importante contar con la materia prima de calidad aparente y en la cantidad suficiente, -- a continuación se dará a conocer las cantidades en kg. de vegetales frescos necesarios para producir un kg. de liofilizado. La siguiente tabla ilustra estos rendimientos:

Vegetal	Rendimiento (base:1 kg.)
Espárrago	30
Zanahoria	21
Vainita	13
Perejil	12
Cebolla China	14
Ajo	8
Apio	30

Es decir, son necesarios 30 kgs. de espárrago fresco para producir 1 kg. de espárrago liofilizado.

En general, todo proyecto de inversión para una planta de Liofilización debe tener en cuenta los siguientes parámetros de costo

- La proporción de agua inicial/agua final ,es decir está relacionado directamente al porcentaje de sólidos de la mat. prima.
- El volumen que puede limitar la carga, debido a que una carga de 10 kg. de producto/m² tendrá un ciclo de secado de 8hr.
- La sensibilidad del producto al calor, pues al aumentar la temperatura final de proceso, es posible disminuir el ciclo de secado .
- El enlace existente entre el agua y el producto (la presencia de azúcares o grasas puede alargar demasiado el ciclo de secado).

Por todo ello, es necesario evaluar cuidadosamente la rentabilidad del producto a liofilizar y si es posible usar otros medios para la preservación del producto propuesto.

A continuación ,se comparan los costos de los métodos de deshidratación alternativos (base : U.S.D. /kg.)

Método de Secado	Productos	Costo
Aire	manzanas, pasas, etc.	3.5
Tambor	cereales, papas, etc.	2.5
Rocío	huevos, leche	3.0
Foam-mat	jugos y purées	7.0
Puff o vacío	frutas y vegetales	8.0-10.0
Liofilizado	prácticamente todo	12.0-25.0
Solar	frutas y pasas	1.5

8.2 Situación del mercado internacional

En la actualidad, existe mucha demanda de 'las comidas rápidas' y los productos liofilizados toman parte importante en su formulación, incluso a nivel nacional las firmas conocidas como APROMSA PERULAC , SIBARITA utilizan como insumos para sus sopas, etc.

Asimismo, en Japón , Inglaterra , Alemania, U.S.A. la demanda-- es muy importante y continuamente se va ampliando las líneas de vegetales liofilizados, pues los productos producidos en el Perú al ser de calidad competitiva en el mercado, no solamente gana el mercado sino que también lo conserva y aún ,es posible diversi--ficar ,eventualmente con otras líneas de liofilizados tales como carnes, café, leche, etc.

Finalmente, a continuación se enlistan una serie de fabricantes de productos por liofilización, con la especialidad de la tecnología.

APOLLO FREEZE-DRIED PRODUCTS INC .-California, U.S.A. :verduras, frutas, productos del mar.

ARMOUR GROCERY PRODUCTS CO .- Illinois, U.S.A.: carnes, pescado, huevos, sopas.

CALIFORNIA VEGETABLE CONCENTRATES .-California, U.S.A.:verduras, frutas, productos del mar, aves, especias, etc,

CAMPBELL SOUP CO.-New Jersey, U.S.A.:aves, carnes, setas.

OREGON FREEZE-DRY FOODS INC .-Oregon, U.S.A. : la gama completa de frutas y vegetales en general.

UNITED FRUIT & FOOD CORP..- Texas, U.S.A. : la gama completa de productos salados, carnes, productos de mar, aves, frutas y verduras.

KNORR FOODS PRODUCTS.-Neilbronn, Alemania Federal : carnes, verduras, para la fabricación de sopas.

MAGGI G.M.B.M. .-Singen, R.F.A. :carnes y verduras para la fabricación de sopas.

MELLIN D'ITALIA S.P.A..-Milán, Italia:carnes, frutas y verduras - para la fabricación de alimentos para bebés.

N.V. PRESERVENBEDRIF-BREDA .-Breda, Holanda :verduras, aves, carnes, frutas .

JAPAN INSTANT FOODS INC.-Osaka, Japón:carnes, langostas, setas, -- huevos, frutas .

LIOBRAS-PRODUTOS LIOFILIZADOS BRASILEIROS S.A..-Sao Paulo ,Brasil café, frutas, verduras para uso doméstico.

9.0 CONCLUSIONES

- 9.1. Actualmente, es imprescindible la transferencia de tecnología en la construcción de plantas liofilizadoras de alimentos. La única planta existente en nuestro país ha sido construída bajo patente de la firma alemana Leybold-Heraeus.
- 9.2. La liofilización de vegetales, encara fuertes costos, entre los principales, se encuentran: materia prima, mano de obra para la preparación de ésta, servicios industriales para el funcionamiento de la planta y acondicionamiento de producto final.
- 9.3. El area de abastecimiento de materia prima es de capital importancia, no solamente por su costo particular, sino que también es determinante, al conseguir una materia prima que pueda hacer -- que el proceso sea más rentable -- al conseguir vegetales de mayor porcentaje de sólidos, sin perjudicar la calidad organoléptica requerida.
- 9.4. Desde el punto de vista técnico, una velocidad de congelamiento relativamente lenta favorecerá la retención de las cualidades organolépticas de la mayoría de los productos vegetales.
- 9.5. El ciclo de secado es posible disminuirlo, trabajando el producto a una presión de vacío máxima permisible, transpuesto este valor, se corre el riesgo de fundir el producto.
- 9.6. La vida útil de los productos liofilizados depende de las condiciones de humedad del producto final, del embalaje y del almacenamiento usados.
- 9.7. Es necesario un pretratamiento particular para cada vegetal procesado, algunos necesitan blanqueo, otros necesitan sulfitaje, y otros necesitan una enérgica descontaminación.

- 9.8. El proceso de liofilización es el método más caro a nivel indus
trial, para la preservación de alimentos, y es a la vez el más --
versátil : pudiéndose trabajar carnes, jugos, leche, frutas y
vegetales, tanto enteros, como en trozos .

10.0 RECOMENDACIONES

- 10.1 La ingeniería nacional tiene un papel muy destacado que cumplir tanto en la construcción de plantas de liofilización como en la mejora del mismo. La adecuación de la tecnología a la realidad particular del país, a fin de optimizar la relación calidad / precio, daría lugar a una industria altamente rentable, con un mercado seguro a nivel nacional e internacional.
- 10.2 Al analizar la estructura de costos, se concluye que el centro de acopio de materia prima debe ser cercano a la planta de liofilización, asimismo dada la incidencia del costo de mano de obra directa en el costo de producción, se recomienda establecer una planta liofilizadora en la zona sur del Perú, particularmente en la región costera, acogiéndose a las facilidades que se ofrecen por la descentralización.
- 10.3 En la liofilización, el principio que normará la producción, desde el área de Campo hasta el proceso en Planta, será el porcentaje de sólidos que tenga la materia prima, si ésta es menor del 10 %, el proceso de liofilización difícilmente será rentable.
- 10.4 Es muy importante, el estudio de las velocidades de congelamiento particularmente dentro del rango de 0°C a -10°C, con el fin de obtener mejores cualidades organolépticas y físicas del producto. En general una velocidad inicial de congelamiento $\leq 0.1^{\circ}\text{C} / \text{min}$ ayuda a retener tanto el sabor, color y textura.
- 10.5 Es posible técnicamente la reducción del ciclo de secado, por lo que se recomienda encontrar la presión máxima de trabajo para cada producto, pues varía para cada vegetal.
- 10.6 Tanto el acondicionamiento como el embalaje son medios por los cuales se conservará la calidad del producto final, es muy necesario, darles la prioridad debida.

- 10.7 Por lo expuesto anteriormente, es claro que cada vegetal tiene sus particularidades, por lo que es más recomendable, trabajar - separadamente tanto en el inicio como en el final del procesamiento .
- 10.8 Existe una gran gama de productos que eventualmente se pueden liofilizar, y siendo el Perú un país de gran potencial agrícola sería muy beneficioso que existan proyectos que partiendo de -- una base real den alternativas a los inversionistas y que finalmente la gestión administrativa en estas industrias conceda mayor importancia a la productividad, algo que no sucedió en las experiencias anteriores.

11.0 BIBLIOGRAFIA

- 11.1 Anquez,M. "Progres techniques de l'utilisation du froid pour les produits agricoles et alimentaires" Industries Alimentaires et Agricoles ,mayo 1981.
- 11.2 Association Francaise de Chimiurgie, "La lyophilisation des produits agricoles" tomo II, 1966.
- 11.3 Berk,Z.,Braverman "Introducción a la Bioquímica de los Alimentos " Ed. El Manual Moderno.S.A. 1980
- 11.4 Brennan ,B "Las Operaciones de la Ingenierfa de los Alimentos" Ed. Ed. Diana . 1976.
- 11.5 Burke, Decareu "Recent Advances in the Freeze-Drying of Food Products"Academic Press .1964.
- 11.6 Desrosier,Tressler"Fundamentals of Food Freezing" Avi 1977.
- 11.7 Guirard, Galzy "L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires" Ed. Paris 1980.
- 11.8 Jul Mogens "The quality of Frozen Foods" Ed. Imperial 1981
- 11.9 King,C "Freeze-drying of foodstuffs" CRC Critical Rev. Food Technology 1970.
- 11.10Li C.F. "Freeze-Drying", Ed. Avi Publishing Co, 1981.
- 11.11Leybold-Heraeus , Catálogo . 1978.

ANEXOS:

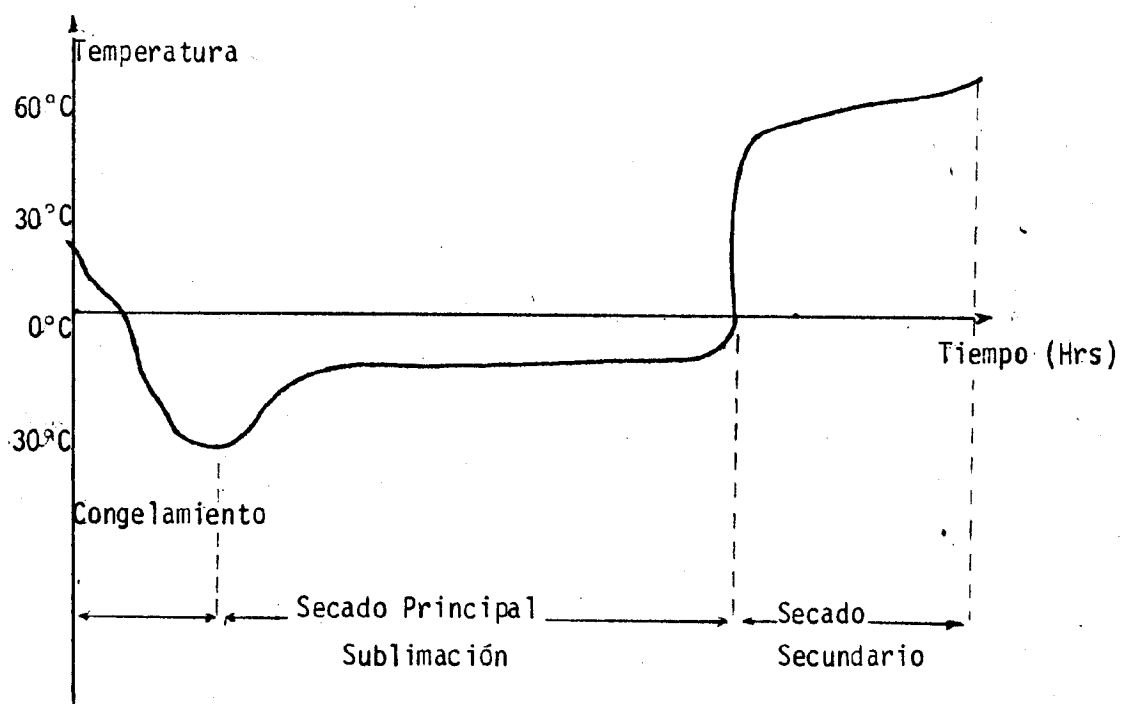
A Tabla de Presión de Vapor de Agua Vs. Temperatura

PRESION DE VAPOR (mbar)	Temperatura (°C)
20 mbar	20
10	10
6.2	0
5.6	-1
5.2	-2
4.8	-3
4.4	-4
4.0	-5
3.7	-6
3.4	-7
3.1	-8
2.8	-9
2.6	-10
2.2	-12
1.8	-14
1.5	-16
1.2	-18
1.0	-20
0.85	-22
0.71	-24
0.57	-26
0.47	-28
0.38	-30
0.13	-40
0.04	-50
0.01	-60

Equivalencias de Presión

1mm de Hg= 1 torr= 1.333 mbar

B.- CURVA GENERAL DE LIOFILIZACION (Temperatura Vs. Tiempo)



SUMMARY

LEYBOLD-HERAEUS-Freeze-Drying-Plants (Production Plants)

I. Chamber Plants (discontinuous operation)

- | | | |
|---------------------------|------------------------|--|
| 1. AFICO S.A. | | Germany |
| Member of Nestlé | year of construction : | 1958 |
| | production : | meat and vegetables for dried soups |
| 2. N.V. De Jong Verenigde | year of construction : | Netherlands 1958 |
| Member of Domo Group | production : | meat, vegetables and mushrooms for dried soups |
| 3. SITPA | | France |
| Member of Nestlé | year of construction : | 1959 |
| | production : | meat, vegetables for dried soups |
| 4. BAYER AG | | Germany |
| Leverkusen | year of construction : | 1970 |
| | size of plant : | GT 150 |
| | production : | pharmaceutic products |
| 5. ELI LILLY COMP. | | France |
| Fegersheim | year of construction : | 1970 |
| | size of plant : | G 100 |
| | production : | pharmaceutic products chamber |
| 6. RIT | | Belgium |
| Genval | year of construction : | 1970 |
| | size of plant : | GT 200 |
| | production : | pharmaceutic products |

- | | | | |
|---|---------|------------------------|------------------------|
| 7. PETER KÖLLN
FLOCKENWERKE AG
Elmshorn | Germany | year of construction : | 1971 |
| | | size of plant : | GT 10 |
| | | production : | Food products |
| 8. NYEGAARD SA
Oslo | Norway | year of construction : | 1971 |
| | | size of plant : | GT 32, GT 150 |
| | | production : | Food products |
| 9. KABI AB
Stockholm | Sweden | year of construction : | 1972 |
| | | size of plant : | GT 20, GT 30,
GT 75 |
| | | production : | Food products |
| 10. MEDICAR WERKE
Budapest II | Hungary | year of construction : | 1973 |
| | | size of plant : | GT 15 |
| | | production : | Food products |

11. Peru

year of construction : 1975

production : veget. oils

II. CQC-Plants (discontinuous operation)

1. LUCAS AARDENBURG NV Netherlands
 Member of Unilever Group year of construction : 1964
 size of plant : 1 tunnel
 production : vegetables

2. UNGARISCHES KÄLTEINSTITUT Hungary
 year of construction : 1965
 size of plant : G 100
 production : fruits,
 vegetables,
 coffee-extract

3. MOLKEREIGENOSSENSCHAFT DAHLENBURG Germany
 year of construction : 1967
 size of plant : 2 x 1 tunnel
 production : dairy products,
 vegetables,
 fruits, coffee-extract

4. MOLKEREIGENOSSENSCHAFT DAHLENBURG Germany
 year of construction : 1967
 size of plant : 2 x 1 tunnel
 production : dairy products,
 vegetables,
 fruits, coffee-extract

5. MOLKEREIGENOSSENSCHAFT DAHLENBURG Germany
 year of construction : 1967
 size of plant : 2 x 1 tunnel
 production : dairy products,
 vegetables,
 fruits, coffee-extract



6. MOLKEREIGENOSSEN-
SCHAFT DAHLENBURG

Germany

year of construction : 1968
size of plant : 2 x 1 tunnel
production : dairy products
vegetables,
fruits, coffee
extract

7. EGG MARKETING BOARD

Australia

year of construction : 1968
size of plant : 2 x 1 tunnel
production : egg-products

8. KALI-CHEMIE

Germany

Member of the
Hoechst-Group

year of construction : 1968
size of plant : 1 tunnel
production : pharmaceutical
products

9. NORDMARK

Germany

Member of the
BASF-Group

year of construction : Germany
size of plant : G 100
production : pharmaceutical
products

10. NORDMARK

Germany

Member of the
BASF-Group

year of construction : 1971
size of plant : G 100
production : pharmaceutical
products

11. N.N.

Germany

year of construction : 1972
size of plant : G 250
production : diet food

III. CQC-Plants (continuous operation)

1. SACAF

Italy

year of construction : 1962
size of plant : 2 tunnel
production : vegetables,
fruits

2. MOLKEREIGENOSSEN- SCHAFT DAHLENBURG

Germany

year of construction : 1964
size of plant : 4 tunnel
production : dairy products
vegetables,
fruits, coffee
extract

3. DR. OTTO SUWELACK

Germany

year of construction : 1964
size of plant : 2 tunnel
production : dairy products
vegetables,
fruits,
coffee- and
tea-extract

4. JACOBS

Germany

year of construction : 1966
size of plant : 4 tunnel
production : coffee-extract

5. HAG

Germany

year of construction : 1966
size of plant : 4 tunnel
production : coffee-extract

6. Deshidratadora de Alimentos Araquipa S.A.	Peru
year of construction :	1967
size of plant :	4 tunnel
production :	onions, garlic Leek, chives etc
7. DR.OTTO SUWELACK	Germany
year of construction :	1967
size of plant :	4 tunnel
production :	dairy products, vegetables, fruits, coffee- and tea-extract
8. SOL CAFE Member of the Lyons Group	Great Britain
year of construction :	1968
size of plant :	2 tunnel
production :	tea-extract, coffee-extract
9. Dr. Otto Suwelack	Germany/1968
year of construction :	4 tunnel
size of plant :	dairy products, vegetables, fruits, coffee- and tea-extract
production :	
10. Dr. Otto Suwelack	Germany/1969
year of construction :	4 tunnel
size of plant :	dairy products, vegetables, fruits, coffee- and tea-extract
production :	
11. GENERAL FOODS	Germany
year of construction :	1969
size of plant :	3 tunnel Jumbo
production :	coffee-extract

12. Coca Cola Industrias Ltda.		Brazil
	year of construction :	1969
	size of plant :	4 tunnel
	production :	coffee-extract
13. NESTLE		Spain
	year of construction :	1969
	size of plant :	3 tunnel
	production :	coffee-extract
14. COCAM S.A.		Brazil
	year of construction :	1970
	size of plant :	5 tunnel
	production :	coffee-extract
15. LYOBEL		Belgium
	year of construction :	1975
	size of plant :	2 x 4,5 tunnel
	production :	coffee-extract
16. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS		Colombia
	year of construction :	1979 - 1980
	size fo plant :	1 x 5 tunnel
	production :	coffee extract

IV. Plants for Dynamic Freeze-Drying

- | | |
|------------------------|---|
| 1. N.N. | Switzerland |
| year of construction : | 1968 |
| size of plant : | 10 m ² Horizontal-
Vibration-Pilot-Dryer |
| production : | coffee-extract |
| 2. N.N. | Germany |
| year of construction : | 1970 |
| size of plant : | 30 m ² Horizontal-
Vibration-Pilot-Dryer
(half-industrial scale) |
| production : | coffee-extract |
| 3. N.N. | Netherlands |
| year of construction : | 1971 |
| size of plant : | 0,9 m ² Vertical-
Vibration-Pilot-Cascade |
| production : | coffee-extract |
| 4. Nylon-Polymer | Germany |
| year of construction : | 1971 |
| size of plant : | 12 m ² Vertical-
Vibration-Cascade |
| production : | plastic-granules |
| 5. Nylon de Mexico | Mexico |
| year of construction : | 1972 |
| size of plant : | 38 m ² Vertical-
Vibration-Cascade |
| production : | plastic-granules |

Cont'd

6. Dr. Suwelack	Germany
year of construction :	1975
size of plant :	0,9 m ² Vertical- Vibration-Pilot-Cascade
production :	coffee-extract, yoghurt, chemical products etc.

Remarks to "N.N."

The names of these firms cannot be published because of internal agreements.